



TUGAS AKHIR – RF141501

**PEMODELAN KECEPATAN GELOMBANG P UNTUK
IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA
DAERAH LUMPUR SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE
SEISMIK INTERFEROMETRI**

DISUSUN OLEH :

**RENDY OKTAVIAN
NRP 3714100026**

DOSEN PEMBIMBING:

**WIEN LESTARI, S.T., M.T
19811002 201212 2 003**

**FIRMAN SYAIFUDDIN S.Si., M.T
19840911 201404 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – RF141501

***P WAVE SPEED MODELING FOR IDENTIFICATION OF SURFACE
STRUCTURE ON SIDOARJO MUD USING SEISMIC INTERFEROMETRY
METHOD***

BY :

**RENDY OKTAVIAN
NRP 3714100026**

ADVISOR:

**WIEN LESTARI, S.T., M.T
19811002 20112 2 003**

**FIRMAN SYAIFFUDIN S.Si., M.T
19840911 20104 1 001**

**GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENT AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PEMODELAN KECEPATAN GELOMBANG P UNTUK
IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA
DAERAH LUMPUR SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE
SEISMIK INTERFEROMETRI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 30 Juli 2018

Menyetujui,

.....
1. Wien Lestari, S.T., M.T
NIP. 19811002 201212 2 003

(Pembimbing I)

.....
2. Firman Syaifuddin S.Si., M.T
NIP. 19840911 201404 1 001

(Pembimbing II)

.....
3. Juan Pandu GNR, S.Si., MT
NIP. 19890612 201504 1 003

(Penguji I)

.....
4. M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M. Eng
NIP. 19890208 201804 1 001

(Penguji II)

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Petrofisika,

.....
Wien Lestari, S.T., M.T
NIP. 19811002 201212 2 003



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN KEASLIAN

TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan penulisan Tugas Akhir yang berjudul “Pemodelan Kecepatan Gelombang P untuk Identifikasi Struktur Bawah Permukaan pada Daerah Lumpur Sidoarjo Menggunakan Metode Seismik Interferometri” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 5 Juni 2018

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'R' followed by a series of loops and a horizontal line. Below the signature, the initials 'R.O.' are written.

Rendy Oktavian
NRP. 3714100026

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PEMODELAN KECEPATAN GELOMBANG P UNTUK IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH LUMPUR SIDOARJO MENGGUNAKAN METODE SEISMIC INTERFEROMETRI

Nama Penulis : Rendy Oktavian
NRP : 3714100026
Departemen : Teknik Geofisika
Dosen Pembimbing : Wien Lestari, S.T., M.T
19811002 201212 2 003
Firman Syaifuddin S.Si., M.T
19840911 201404 1 001

ABSTRAK

Fenomena lumpur Sidoarjo merupakan salah satu fenomena alam yang terjadi di Indonesia sejak tahun 2006. Lumpur Sidoarjo adalah peristiwa yang terjadi akibat munculnya lumpur panas dan gas dari lokasi pengeboran sumur Banjar panji di Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Para pakar geologi dan geofisika masih terus meneliti mengenai penyebab dan dampak dari peristiwa semburan lumpur Sidoarjo tersebut. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Davies pada tahun 2008 menyatakan bahwa adanya peristiwa *subsidence* dan *uplift* pada area lumpur Sidoarjo dan daerah sekitarnya yang disebabkan oleh semburan lumpur tersebut. Oleh sebab itu penelitian lebih lanjut dilakukan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan pada area lumpur Sidoarjo dan untuk menganalisa pengaruh lumpur Sidoarjo terhadap kondisi geologi pada lokasi penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah seismik interferometri. Seismik interferometri merupakan metode seismik pasif dimana merupakan metode yang lebih murah dan ramah lingkungan dibandingkan dengan metode seismik aktif. Seismik interferometri memanfaatkan *ambient noise* sebagai sumber informasi *sub-surface* dalam pengolahan data. Dari hasil yang didapat pada *velocity* modelling didapatkan nilai V_p rendah berkisar antara 0.8 – 1.15 km/s, nilai V_p sedang 1.15 - 1.41 km/s dan V_p tinggi 1.41 – 1.9 km/s. Didapatkan 3 perlapisan dari hasil interpretasi model yaitu *Top Soil* pada lapisan teratas, *Clay* (kompaksi sedang) pada lapisan tengah dan *Clay* (kompaksi tinggi) dan *Sandstone* pada lapisan terbawah. Dampak geologi yang disebabkan oleh lumpur Sidoarjo diantaranya adalah ketidakstabilan lapisan, *subsidence* dan munculnya rekahan-rekahan baru.

Keyword : *Ambient Noise*, Lumpur Sidoarjo, Seismik Interferometri, *Velocity modeling*, *Virtual Source*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

*P WAVE SPEED MODELING FOR IDENTIFICATION OF SURFACE
STRUCTURE ON SIDOARJO MUD USING SEISMIC INTERFEROMETRY
METHOD*

Author : Rendy Oktavian
Student ID Number : 3714100026
Departement : Geophysical Engineering
Advisor : Wien Lestari, S.T., M.T
19811002 201212 2 003
Firman Syaifuddin S.Si., M.T
19840911 201404 1 001

ABSTRACT

Sidoarjo mud phenomenon is one of the natural phenomena that occurred in Indonesia since 2006. Sidoarjo mud is an event that occurs due to the emergence of hot mud and gas from the well drilling location Banjar panji in Porong district, Sidoarjo regency, East Java. Geologists and geophysics experts continue to examine the causes and impacts of the Sidoarjo mudflow event. One study conducted by Davies in 2008 states that the incidence of subsidence and uplift in the area of Sidoarjo mud and surrounding areas caused by the mudflow. Therefore further research was undertaken to identify the subsurface structure of the Sidoarjo mud area and to analyze the effect of Sidoarjo mud on geological conditions at the study site. The method used in this research is seismic interferometry. Seismic interferometry is a passive seismic method which is a cheaper and environmentally friendly method than the active seismic method. Seismic interferometry utilizes ambient noise as a source of sub-surface information in data processing. . From the results obtained on the velocity modeling obtained low Vp value ranges from 0.8 to 1.15 km / s, the value of Vp is 1.15 - 1.41 km / s and Vp high 1.41 - 1.9 km / s. There were 3 layers from the interpretation of Top Soil model on top layer, Clay (medium compaction) in middle layer and Clay (high compaction) and Sandstone at the lowest layer. Geological impacts caused by Sidoarjo mud are instability of layers, subsidence and the emergence of new fractures.

Keyword: Ambient Noise, Sidoarjo Mud, Seismic Interferometry, Velocity modeling, Virtual Source

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena dengan rahmat dan ridho-Nya laporan tugas akhir dengan judul “Pemodelan Kecepatan Gelombang P untuk Identifikasi Struktur Bawah Permukaan pada Daerah Lumpur Sidoarjo Menggunakan Metode Seismik Interferometri” dapat terselesaikan.

Penyelesaian ini tentunya juga melibatkan berbagai pihak selain penulis. Dalam penulisan maupun proses pelaksanaan tidak terlepas dari bimbingan, saran dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih pada :

- 1 Orang tua penulis yang senantiasa memberikan dukungan material maupun moril pada pengerjaan tugas akhir ini.
- 2 Dr. Widya Utama, DEA selaku kepala Departemen Teknik Geofisika ITS
- 3 Wien Lestari S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 1 yang senantiasa memberikan saran dan bimbingan dari sebelum hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.
- 4 Firman Syaifuddin S.Si, M.T., selaku dosen pembimbing 2 yang senantiasa mengingatkan dan membimbing dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
- 5 Uni dan abang penulis yang senantiasa memberikan dukungan material maupun moril pada pengerjaan tugas akhir ini.
- 6 Teman-teman Departemen Teknik Geofisika ITS yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan pada pengerjaan tugas akhir ini.
- 7 Seluruh pihak yang senantiasa membantu saya baik secara moril maupun materil yang tidak dapat dituliskan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa pengembangan keilmuan tidak berhenti pada suatu hasil. Kritik, saran maupun diskusi diperlukan agar kebermanfaatan laporan tugas akhir ini semakin dirasakan pembaca maupun pribadi penulis.

Surabaya, 5 Juni 2018



Rendy Oktavian
NRP. 3714100026

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 <i>Latar Belakang</i>	1
1.2 <i>Permasalahan</i>	2
1.3 <i>Batasan Masalah</i>	2
1.4 <i>Tujuan</i>	2
1.5 <i>Manfaat</i>	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Penelitian Sebelumnya</i>	3
2.2 <i>Geologi Regional</i>	4
2.2.1 <i>Fisiografi Jawa Timur</i>	5
2.2.2 <i>Stratigrafi Regional</i>	6
2.2.2.1 <i>Stratigrafi Zona Kendeng</i>	6
2.2.2.2 <i>Stratigrafi Pada Lokasi Penelitian</i>	8
2.3 <i>Seismik Refraksi</i>	10
2.4 <i>Seismik Interferometri</i>	11
2.5 <i>Seismik Interferometri Gelombang Langsung</i>	12
2.6 <i>Kecepatan Gelombang Seismik pada Batuan</i>	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 <i>Lokasi Penelitian</i>	19
3.2 <i>Peralatan dan Data</i>	19
3.3 <i>Desain Akuisisi</i>	20
3.4 <i>Diagram Alir Penelitian</i>	20
3.5 <i>Diagram Alir Perhitungan Virtual Source</i>	22
3.6 <i>Diagram Alir Pengolahan Seismik Tomografi</i>	23
3.7 <i>Pengolahan Data</i>	24
3.7.1 <i>Reformatting Data</i>	24
3.7.2 <i>Korelasi Silang dan Filtering</i>	24
3.7.3 <i>Stacking</i>	24
3.7.4 <i>Picking First Break</i>	24
3.7.5 <i>Inversi</i>	25

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 <i>Proses Pengolahan</i>	27
4.1.1 <i>Raw Data Seismic Interferometri</i>	27
4.1.2 <i>Pembuatan Virtual source</i>	30
4.2 <i>Pengolahan Data Seismik Interferometri Tomografi</i>	33
4.3 <i>Interpretasi Penampang Velocity Modeling</i>	37
4.4 <i>Interest Zone Hasil Interpretasi</i>	38
.....	40
BAB V PENUTUP	41
5.1 <i>Kesimpulan</i>	41
5.2 <i>Saran</i>	41
DAFTAR PUSTAKA	43
PROFIL PENULIS	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Penampang V_p (aktif) - Forensik ITS (interferometri)-Taman Alumni ITS (interferometri) Hasil Regresi Log.(Rochman M, 2017)	3
Gambar 2. 2 Model hasil intepretasi penampang V_p .(Rochman M, 2017)	4
Gambar 2. 3 Fisiografi Pulau Jawa Bagian Timur Menurut Bemmelen 1949 (ESDM, 2013)	5
Gambar 2. 4 Peta Geologi Lokasi Penelitian	6
Gambar 2. 5 Stratigrafi Zona Kendeng (Harsono, 1983).....	7
Gambar 2. 6 Stratigrafi dan Gradien Temperatur Tekanan pada Sumur BJP-I (Mazzini dkk., 2007).....	9
Gambar 2. 7 Ilustrasi penjalaran gelombang 1-D (a) gelombang menjalar kearah kanan dari sumber X_s (b) waktu tempuh dari sumber X_s menuju <i>receiver</i> X_b (c) waktu tempuh dari sumber X_s menuju <i>receiver</i> X_c (d) respon korelasi silang antara <i>receiver</i> X_a dan X_b	12
Gambar 2. 8 Dengan sumber dari kanan ke kiri, cross-correlation d) diinterpretasikan sebagai time reversed Green's function (Wapenaar, Slob, dkk., 2010).....	14
Gambar 2. 9 Ilustrasi jika sumber berasal dari kiri dan kanan penerima (Wapenaar, Slob, dkk., 2010)	15
Gambar 2. 10 seperti pada Gambar 2.8 tetapi ambient noise dilakukan secara bersamaan dari kanan dan kiri (Wapenaar, Slob, dkk., 2010)	16
Gambar 3. 1 Desain Akuisisi Penelitian	20
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3. 3 Diagram alir perhitungan <i>virtual source</i>	22
Gambar 3. 4 Diagram Alir Pengolahan Seismik Tomografi.....	23
Gambar 3. 5 <i>Flowchart</i> Pengubahan Format <i>.segd</i> menjadi <i>.sgy</i>	24

Gambar 4. 1 <i>Raw Data</i> pada Data Set 30, 70 dan 100.....	28
Gambar 4. 2 Spektrum Frekuensi <i>Raw Data</i> Set 30,70 dan 100.....	29
Gambar 4. 3 Spektrum Frekuensi Pada <i>Virtual Source</i> 10, 190 dan 410 (Grafik berwarna merah merupakan spektrum frekuensi rata-rata dari keseluruhan <i>trace</i> sedangkan grafik biru merupakan spektrum frekuensi pada <i>Virtual Source</i>)...	31
Gambar 4. 4 <i>Virtual Source</i> 10, 190 dan 410 dengan filter band pass (5,8,10,12hz)	32
Gambar 4. 5 Geometri <i>virtual source</i> yang digunakan dalam <i>picking surface wave</i>	33
Gambar 4. 6 Hasil <i>Picking First Break</i> pada <i>Virtual Source</i> 70, 130 dan 190 .	34
Gambar 4. 7 Penampang <i>Velocity modeling</i> Hasil Inversi	35
Gambar 4. 8 <i>Basemap</i> Desain Akuisisi dengan Penampang Kecepatan Gelombang P	36
Gambar 4. 9 Jejak Sinyal Gelombang Seismik (<i>Ray Tracing</i>)	36
Gambar 4. 10 Interpretasi Rentang Nilai <i>Vp</i>	37
Gambar 4. 11 Model hasil intepretasi penampang <i>Vp</i>	38
Gambar 4. 12 Zona <i>Interest</i> dari Hasil <i>Velocity modeling</i>	38

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Informasi Parameter Data Pengukuran.....	19
Tabel 4. 1 Parameter Inversi.....	35

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena alam yang terjadi di Indonesia banyak sekali terjadi, dikarenakan lokasi geografis Indonesia dan tatanan tektonik yang sering memicu peristiwa alam. Fenomena alam yang masih menjadi perbincangan di Indonesia sampai saat ini adalah bencana yang disebabkan oleh semburan lumpur Sidoarjo. Lumpur Sidoarjo adalah peristiwa yang terjadi akibat munculnya lumpur panas dan gas dari lokasi pengeboran sumur Banjar panji di Dusun Balongnongo, Desa Renokenogo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Fenomena tersebut masih belum menemukan titik terang kapan akan berakhirnya, sehingga masih banyak pakar geologi, geofisika yang masih mencari tahu dan meneliti luapan lumpur Sidoarjo tersebut. Semburan lumpur ini telah berlangsung selama kurang lebih 12 Tahun yang telah menenggelamkan beberapa wilayah di Daerah Porong Sidoarjo. Ada tiga pendapat penyebab munculnya semburan lumpur Sidoarjo, pendapat pertama yaitu diakibatkan oleh reaktivasi patahan watukosek akibat gempa yang terjadi di Yogyakarta pada tanggal 27 Mei 2006 dengan jarak *epicenter* ~250km dari pusat semburan lumpur (Mazzini dkk, 2007) pendapat kedua yaitu mengenai pemboran yang dilakukan di sumur Banjarpanji-1 (BJP-1) berada pada batuan *limestone* pada kedalaman ~2830m di bawah permukaan dengan tekanan dan permeabilitas yang tinggi (Davies, 2018) dan terakhir pendapat ketiga mengenai deformasi yang terjadi pada daerah di sekitar semburan, dibuktikan dengan adanya kenaikan (*land-uplift*) dan penurunan (*subsidence*) permukaan tanah pada sisi timur laut semburan lumpur Sidoarjo (Abidin dkk., 2009).

Terdapat beberapa lokasi naik turunnya lapisan atau ketidak stabilan lapisan, yang ditunjukkan dengan penampang radargram dan peta lapisan 2D yang dihasilkan oleh GPR (Widodo, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa daerah tersebut relatif tidak stabil. Penelitian lebih lanjut dilakukan untuk menelusuri kondisi struktur bawah permukaan pada area yang diduga menjadi penyebab munculnya semburan lumpur Sidoarjo dengan menggunakan metode seismik interferometri. Seismik interferometri merupakan metode seismik pasif dimana merupakan metode yang lebih murah dan ramah lingkungan dibandingkan dengan metode seismik aktif. Berdasarkan penelitian (Rochman M, 2017) menunjukkan bahwa metode refraksi seismik interferometri dapat menghasilkan model penampang kecepatan gelombang P bawah permukaan dengan baik sehingga dapat digunakan untuk identifikasi struktur bawah permukaan.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat diidentifikasi permasalahan yang muncul, yaitu:

1. Bagaimana mengoptimalkan metode seismik interferometri untuk analisa struktur bawah permukaan pada daerah Lumpur Sidoarjo?
2. Bagaimanakah bentuk penampang bawah permukaan yang dihasilkan metode seismik interferometri?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Wilayah penelitian mencakup daerah Lumpur Sidoarjo, Porong.
2. Konfigurasi yang digunakan pada proses akuisisi adalah *Fix Spread*
3. Struktur yang diidentifikasi adalah perlapisan sedimen

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Mengidentifikasi struktur perlapisan bawah permukaan dari lokasi penelitian.
2. Menganalisa pengaruh lumpur Sidoarjo terhadap kondisi geologi pada lokasi penelitian.

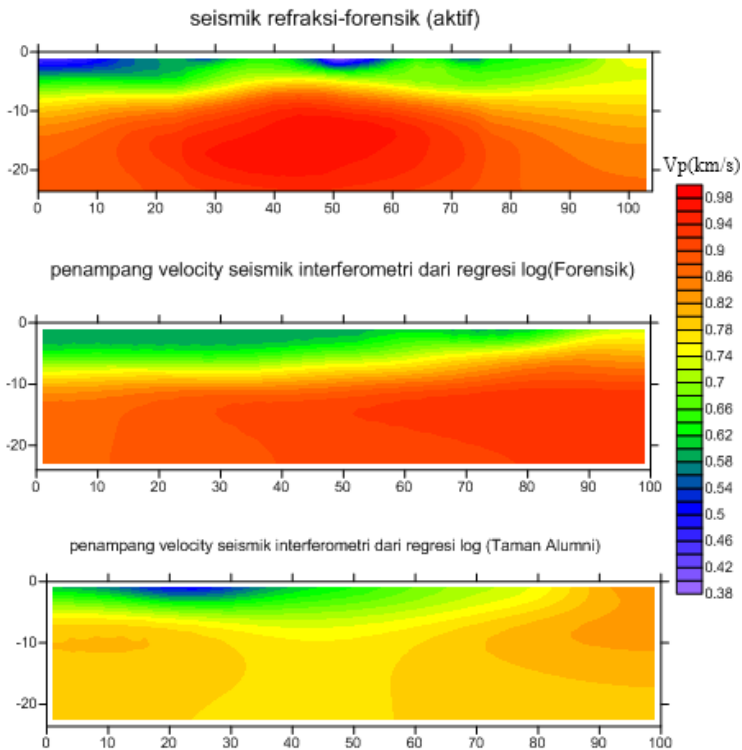
1.5 Manfaat

1. Manfaat sosial, dapat menjadi rujukan untuk tahap mitigasi kedepannya sebagai data pendukung.
2. Mengetahui struktur bawah permukaan daerah Lumpur Sidoarjo
3. Bagi akademis, dapat menjadi rujukan untuk penelitian lain dengan topik yang sama guna kemajuan riset dalam bidang seismik interferometri hingga penelitian *hazard* lain untuk analisa struktur bawah permukaan pada daerah lumpur Sidoarjo.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

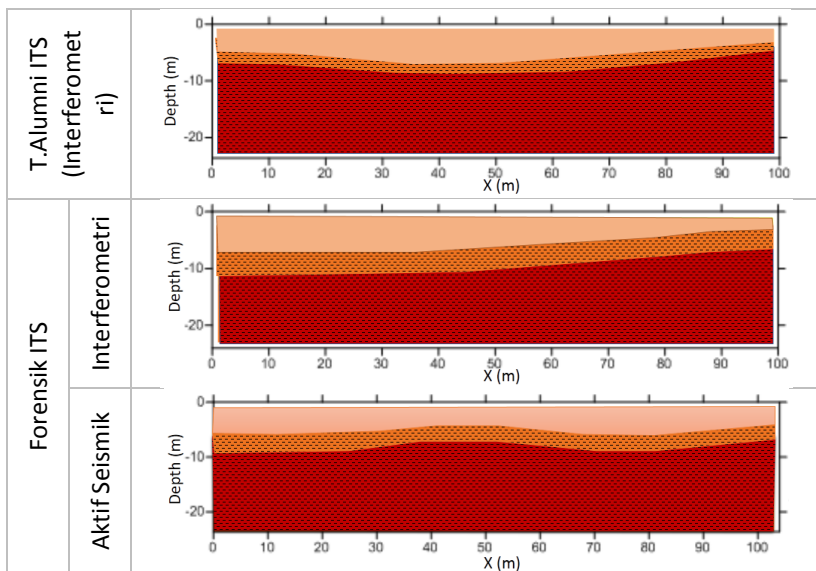
2.1 Penelitian Sebelumnya

Salah satu penelitian dengan metode interferometri yang telah dilakukan sebelumnya dilakukan oleh Nur Rochman pada tahun 2017 yang berlokasi di Taman Alumni ITS dan Forensik ITS, dengan tujuan untuk Mendapatkan penampang *virtual source* baik dari data sintetis maupun data lapangan, dan pengolahan seismik refleksi dan tomografi data seismik interferometri sintetis beserta uji coba pada data lapangan.



Gambar 2. 1 Penampang V_p (aktif) - Forensik ITS (interferometri)-Taman Alumni ITS (interferometri) Hasil Regresi Log.(Rochman M, 2017)

Pada gambar 2.1 merupakan hasil *velocity modeling* yang terbagi atas 3 yaitu V_p rendah, V_p sedang dan V_p tinggi yang diasumsikan merupakan Alluvial yang didominasi oleh *clay*.



Gambar 2. 2 Model hasil intepretasi penampang V_p .(Rochman M, 2017)

Pada gambar 2.1 dan 2.2 merupakan hasil interpretasi dari penampang V_p yang terdiri dari 3 perlapisan dengan lapisan *top soil* di paling atas lalu *clay* (kompaksi rendah) dan *clay* (kompaksi sedang-tinggi).

Penelitian untuk mengetahui kondisi bawah permukaan pada daerah lumpur Sidoarjo salah satunya dilakukan oleh (Widodo, 2017) menggunakan metode *Ground Penetrating Radar (GPR)* yang menyatakan bahwa terdapat beberapa lokasi yang mengalami kenaikan (*uplift*) dan penurunan (*subsidence*) pada Kecamatan Tanggulangin yang mendandakan adanya ketidakstabilan lapisan.

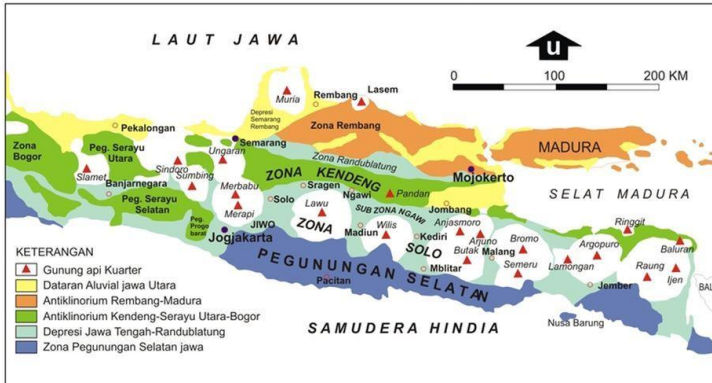
Penelitian lainnya dilakukan oleh (Adi dkk., 2017) yang bertujuan untuk mengidentifikasi rekahan dangkal yang terdapat pada Kecamatan Tanggulangin akibat aktivitas lumpur Sidoarjo yang menyatakan bahwa terdapat dua pola rekahan, yaitu rekahan berarah barat daya-timur laut dan berada di utara pusat semburan merupakan jenis rekahan radial yang menjalar lurus atau menjari dari pusat semburan; dan rekahan berarah barat laut-tenggara merupakan jenis rekahan circular yang menyebar seperti lingkaran dari pusat semburan.

2.2 Geologi Regional

Daerah penelitian berada pada daerah Jawa Timur tepatnya di Porong, Sidoarjo.

2.2.1 Fisiografi Jawa Timur

Menurut Bemmelen (1949) Jawa Timur dikelompokkan menjadi empat zona, yaitu Zona Rembang, Zona Kendeng, Zona Randublatung, dan Zona Pegunungan Selatan. Fisiografi Jawa Timur dan Jawa Tengah dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2. 3 Fisiografi Pulau Jawa Bagian Timur Menurut Bemmelen 1949 (ESDM, 2013)

Berdasarkan peta fisiografi Jawa Timur tersebut lokasi penelitian lumpur Sidoarjo berada pada Zona Kendeng Timur.

Zona ini merupakan punggung terlipat dan membentuk antiklinorium memanjang arah barat – timur mulai dari Purwodadi, Jawa Tengah dan berakhir di pulau Madura. Sama seperti Zona Rembang – Madura, Zona Kendeng juga merupakan antiklinorium memanjang mulai dari Semarang hingga Surabaya. Zona ini terbentuk dari vulkanogenik dan sedimen plagik.

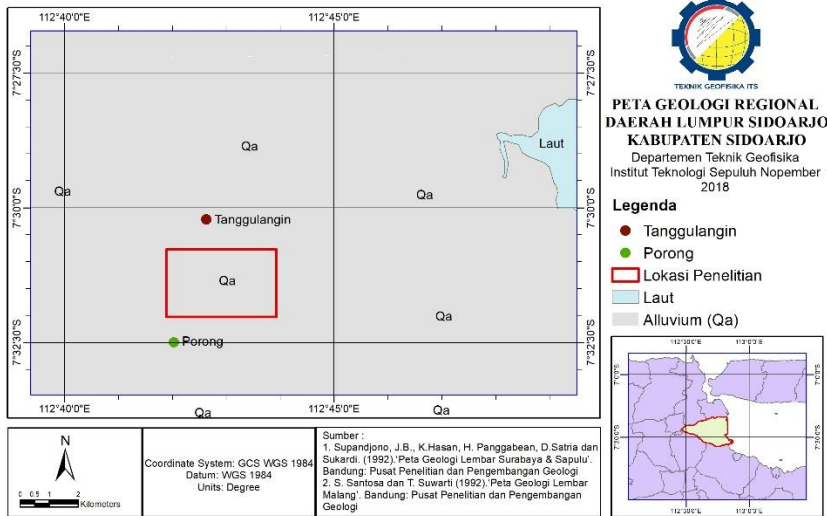
Zona Kendeng merupakan salah satu fitur tektonik *termuda* di wilayah Jawa Timur. Zona ini terbentuk pada masa *early* hingga *late* Pliocene (Lunt dkk, 1996). Zona ini merupakan bagian dari cekungan yang terus menurun dari *Miocene* sampai akhir dari *Pleistocene* tengah. *Miocene* akhir dan sedimen yang lebih tua pada Zona Kendeng pada umumnya tebal.(Indrawati, 2016)

Material pada Zona Kendeng Timur bagian barat terendapkan pada area laut dangkal yang berasal dari material vulkanis dan sedimen dari jajaran pegunungan selatan. Zona ini terisi oleh sedimen *Meiocene* sampai *Pleistocene* yang cepat dan belum terkompaksi sempurna. Karena lokasinya pada batas lempeng konvergen, deposisi tersebut tertekan dan terangkat dari masa *Plio-Pleistocene* (Satyana dan Asnidar, 2008)

Batu Pasir Kuarsa dari Formasi Kerek dan Merawu yang berumur Miosen Tengah dan sedimen *debris* kuarsaan dari Formasi Ngrayong berumur Miosen Tengah yang diendapkan ke Zona Randublatung dan Kendeng,

sumbarnya banyak mengandung Serpih Napalan dan sedimen *Calcareous* lainnya (Santosa dan Suwarti, 1992)

Berdasarkan peta geologi lembar Surabaya- Sapulu yang dikeluarkan pada tahun 1992, disebutkan bahwa batuan penyusun daerah penelitian adalah endapan aluvium.



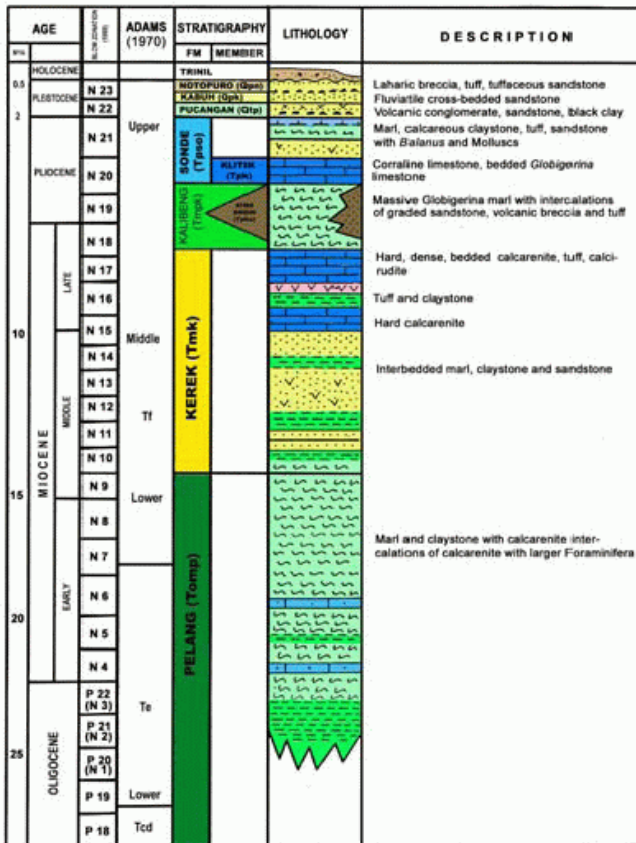
Gambar 2. 4 Peta Geologi Lokasi Penelitian

2.2.2 Stratigrafi Regional

Berdasarkan Fisiologi Jawa Timur diketahui bahwa daerah penelitian berada pada Zona Kendeng tepatnya Zona Kendeng Timur.

2.2.2.1 Stratigrafi Zona Kendeng

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya daerah penelitian berada pada Zona Kendeng, menurut Harsono (1983) Stratigrafi Kendeng dibagi menjadi dua cekungan pengendapan, yaitu cekungan Rembang yang membentuk Pegunungan Kapur Utara dan cekungan Kendeng yang membentuk Pegunungan Kendeng. Stratigrafi Zona Kendeng dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut,



Gambar 2. 5 Stratigrafi Zona Kendeng (Harsono, 1983)

Adapun Formasi yang terdapat pada Zona Kendeng adalah sebagai berikut :

- Formasi Kerek

Formasi Kerek terbentuk pada masa Miosen tengah hingga Miosen Akhir. Formasi ini tersusun atas lempung, napal lempungan, napal, batupasir tufaan gampingan dan batupasir tufaan. Perselingan struktur sedimen ini menunjukkan adanya pelapisan bersusun (*graded bedding*) yang khas.

- Formasi Kalibeng

Formasi Kalibeng berada di atas Formasi Kerek. Formasi ini terbagi menjadi dua yaitu Formasi Kalibeng Atas dan Formasi Kalibeng Bawah. Bagian bawah dari Formasi Kalibeng tersusun oleh napal tak berlapis setebal 600 meter berwarna putih kekuningan sampai abu-abu kebiruan. Asosiasi fauna yang ada menunjukkan bahwa Formasi Kalibeng bagian bawah ini terbentuk pada masa Miosen akhir hingga Pliosen. Di bagian bawah formasi ini terdapat beberapa

perlapisan batupasir, yang ke arah Kendeng bagian barat berkembang menjadi suatu endapan aliran rombakan debris flow, yang disebut Formasi Banyak (Harsono, 1983). Sedangkan ke arah Jawa Timur bagian atas formasi ini berkembang sebagai endapan vulkanik laut yang menunjukkan struktur turbidit. Fasies tersebut disebut sebagai Formasi Atasangin, sedangkan bagian atas Formasi Kalibeng ini disebut sebagai Formasi Sonde yang tersusun mula – mula oleh Anggota Klitik, yaitu kalkarenit putih kekuningan, lunak, mengandung foraminifera planktonik maupun foraminifera besar, moluska, koral, alga, bersifat napalan atau pasiran dan berlapis baik. Bagian atas bersifat breksian dengan fragmen gamping berukuran kerikil sampai karbonat, kemudian disusul endapan bapal pasiran, semakin ke atas napalnya bersifat lempungan, bagian teratas ditempati napal lempung berwarna hijau kebiruan.

- Formasi Pucangan

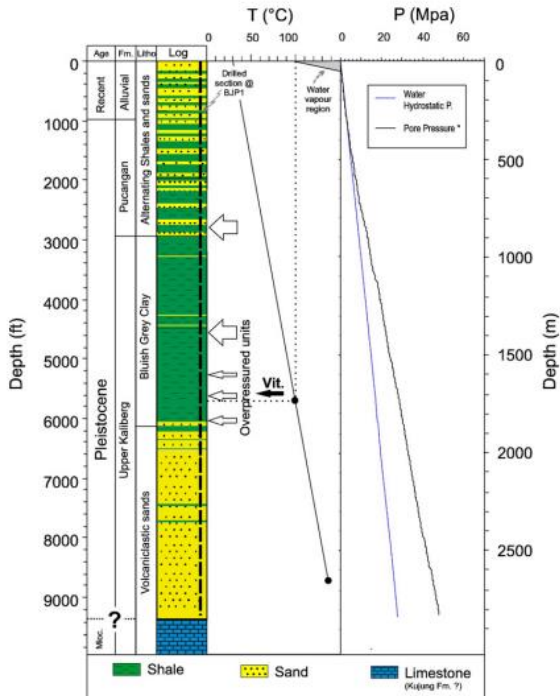
Formasi ini berada di atas Formasi Sonde yang terbentuk pada masa Pliosen akhir hingga Plistosen. Tebal formasi ini antara 60 – 480 meter. Formasi ini tersusun atas batuan konglomerat *vulcanic*, batupasir dan lempung hitam.

- Formasi Kabuh

Formasi Kabuh terletak selaras di atas Formasi Pucangan. Formasi ini terbentuk pada masa Plistosen, terdiri dari batupasir dengan material non vulkanik antara lain kuarsa, berstruktur silangsiur dengan sisipan konglomerat dan tuff. (Bemmelen, van, 1949) di bagian barat Zona Kendeng (daerah Sangiran), formasi ini diawali lapisan konglomerat gampingan dengan fragmen andesit, batugamping konkresi, batugamping Globigerina, kuarsa, augit, hornblende, feldspar dan fosil Globigerina. Kemudian dilanjutkan dengan pembentukan batupasir tuffaan berstruktur silangsiur dan berlapis mengandung fragmen berukuran kecil yang berwarna putih sampai cokelat kekuningan.

2.2.2.2 Stratigrafi Pada Lokasi Penelitian

Stratigrafi batuan yang terdapat di daerah Sidoarjo dan sekitarnya dapat dicerminkan oleh stratigrafi sumur eksplorasi minyak dan gas bumi Banjar panji-1 Porong, Sidoarjo.



Gambar 2. 6 Stratigrafi dan Gradien Temperatur Tekanan pada Sumur BJP-I (Mazzini dkk., 2007)

Berdasarkan gambar 2.6 urutan stratigrafi lokasi penelitian dari permukaan ialah sedimen aluvial dengan ketebalan berkisar 250 m, selanjutnya ialah formasi pucangan dengan kedalaman hingga 900 m yang terdiri dari persilangan antara lempung dan batupasir. Pada kedalaman 1000 m adalah formasi Kalibeng atas yang terbentuk pada masa Plistosen yang terdiri dari lempung (*bluish gray clay*) dan *volcaniclastic sands* dibagian bawahnya.

Batu Pasir Vulkanik yang terdapat di sumur Banjar panji-1 ini mempunyai ketebalan sekitar 962 m yang menipis ke arah timur. Lapisan batuan ini adalah endapan batuan vulkanik hasil erupsi gunung api yang berada di sebelah barat atau barat dayanya yang berumur Pliosen Atas dan merupakan hasil orogenesis Plio - Plistosen. Batu Lempung berwarna kebiru-biruan yang menindih di atasnya adalah bagian bawah dari Formasi Pucangan berumur Plistosen Bawah (Kadar, 2007 dalam Indrawati, 2016).

Pada zaman Pliosen Bawah terdapat banyak gunung api yang berlokasi di sekitar Surakarta yang masih aktif dan pada saat yang bersamaan di wilayah sebelah timurnya, terdapat aktivitas gunung api lainnya sebagai ujung timur Zona

Solo adalah kompleks Gunung Api Wilis Tua dan Anjasmoro Tua. Letusan - letusan dari kompleks gunung api tersebut menghasilkan endapan lahar, aliran piroklastik, dan atau endapan fluvial hasil *reworked* dari endapan piroklastika. Lapisan batupasir vulkanik yang terdapat pada wilayah Porong dan sekitarnya merupakan lapisan batuan hasil erupsi gunung api tersebut (Bemmelen, van, 1949).

Di atas endapan batu pasir vulkanik kemudian diendapkan batu lempung abu-abu kebiruan setebal 1.285 meter yang berumur Plistosen Bawah–Plistosen Tengah. Kemudian satuan batuan tersebut selaras ditutupi oleh selang–seling antar batu lempung dan serpih dari Formasi Pucangan, serta endapan vulkanik Formasi Kabuh pada zaman Plistosen Tengah –Atas dan anggota Jombang dari Formasi Notopuro yang berumur Plistosen Atas. Setelah terbentuknya breksi lahar Jombang, kemudian terjadi pelipatan dan sesaran pada formasi -formasi tersebut (Kadar, 2007 dalam Indrawati, 2016).

2.3 Seismik Refraksi

Seismik refraksi (seismik bias) merupakan salah satu metode yang terdapat pada metode seismik, metode lainnya adalah seismik refleksi (seismik pantul). Pada penelitian ini metode yang digunakan hanya seismik refraksi. Dalam seismik refraksi gelombang yang terukur hanyalah gelombang P yang merupakan gelombang yang paling cepat merambat dibandingkan dengan gelombang lainnya. Oleh sebab itu disebut dengan *first break* karena merupakan gelombang pertama yang terekam pada saat pengukuran melalui *geophone*, gelombang lain yang terekam setelah itu diabaikan. Dari bentuk kurva waktu tempuh terhadap jarak, dapat ditafsirkan kondisi batuan dan perlapisan di daerah penelitian.

Keterbatasan metode ini adalah tidak dapat dipergunakan pada daerah dengan kondisi geologi yang terlalu kompleks. Metode ini telah dipergunakan untuk mendeteksi perlapisan dangkal dan hasilnya cukup memuaskan. Menurut (Sismanto, 1999), asumsi dasar yang harus dipenuhi untuk penelitian perlapisan dangkal adalah:

1. Medium bumi dianggap berlapis-lapis dan setiap lapisan menjalarkan gelombang seismik dengan kecepatan yang berbedabeda.
2. Semakin bertambah kedalamannya, batuan lapisan akan semakin kompak.
3. Panjang gelombang seismik lebih kecil daripada ketebalan lapisan bumi.
4. Perambatan gelombang seismik dapat dipandang sebagai sinar, sehingga mematuhi hukum – hukum dasar lintasan sinar.
5. Pada bidang batas antar lapisan, gelombang seismik merambat dengan kecepatan pada lapisan dibawahnya.
6. Kecepatan gelombang bertambah dengan bertambahnya kedalaman.

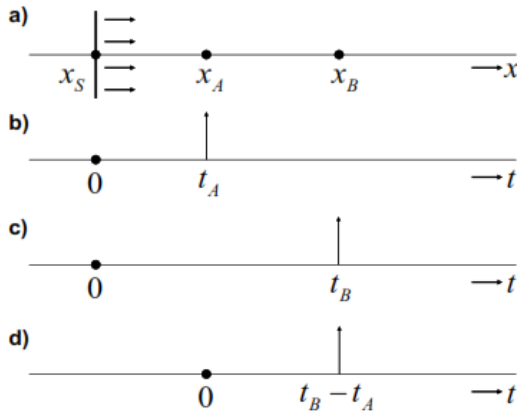
2.4 Seismik Interferometri

Kata interferometri secara umum merujuk pada studi tentang fenomena interferensi antar pasangan gelombang yang bertujuan untuk mendapatkan informasi dari perbedaan diantara pasangan gelombang tersebut. Seismik interferometri secara sederhana adalah studi mengenai interferensi antara sinyal seismik. Seismik interferometri merupakan prinsip untuk menimbulkan gelombang seismik baru sebagai respon dari sumber yang sebenarnya (*virtual source*) dengan menggunakan operasi korelasi silang pada lokasi penerima (*receiver*) yang berbeda. Dalam metode seismik interferometri pasif tidak perlu menjumlahkan keseluruhan respon korelasi karena respon yang terkorelasi secara bersamaan akan bertindak seperti sumber yang tidak terkorelasi (Wapenaar, Draganov, dkk., 2010). Pada kebanyakan kasus, respon hasil korelasi silang antara dua *receiver* (dan dijumlahkan dengan keseluruhan sumber lain) dapat diinterpretasikan sebagai respon yang diukur pada salah satu *receiver* seolah-olah sumbernya adalah *receiver* yang lain. Karena respon tersebut sama dengan fungsi Green yang dikonvolusikan dengan *wavelet*, maka interferometri seismik juga disebut pemulihan fungsi Green (*Green's function retrieval*).

Seismik interferometri merupakan sebuah teknik dimana sebuah gelombang datang yang merambat diantara dua *receiver* di korelasi silang dengan bidang gelombang acak (*random*). Korelasi silang dari respon seismik dapat membangun respon impuls atau fungsi Green diantara dua sensor (Campillo dan Paul, 2003 dalam Dwanda & Nurhandoko, 2016). Seismik interferometri membuat salah satu *receiver* dapat dianggap sebagai sumber, meskipun tidak ada sumber fisik, sehingga *receiver* ini disebut juga sebagai sumber *virtual* (*virtual source*) (Bakulin dan Calvert, 2006). Peristiwa ini disebut juga reposisi atau *redatuming*. Dalam bidang eksplorasi geofisika *redatum* merupakan proses membawa sumber dan/atau *receiver* dari level akuisisi ke level kedalaman yang berbeda dengan menggunakan operator ekstrapolasi berdasarkan model kecepatan makro (Berryhill, 1979). Banyak studi yang dilakukan mengenai seismik interferometri dilihat dari fakta bahwa metode seismik interferometri ini dapat menggunakan sumber seismik alami dengan frekuensi rendah (*passive seismic*) dibandingkan dengan metode konvensional yang mengharuskan penggunaan sumber seismik aktif yang lebih memakan biaya. Salah satu alasan metode ini menarik adalah fakta bahwa respon seismik dapat diperoleh dari data pengukuran lapangan dengan cara yang sederhana. Seismik alami atau seismik pasif merupakan metode geofisika terbaru yang banyak dikembangkan saat ini. Seismik pasif adalah getaran tanah dengan amplitudo mikrometer yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam ataupun buatan, seperti angin, gelombang laut atau getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah dekat permukaan (Tokimatsu, 2004 dalam Dwanda & Nurhandoko, 2016).

2.5 Seismik Interferometri Gelombang Langsung

Seismik Interferometri Gelombang Langsung Seismik interferometri melibatkan korelasi silang antara respon yang diterima oleh minimal dua *receiver*. Tinjau penjalaran gelombang langsung 1-D pada ilustrasi berikut:



Gambar 2. 7 Ilustrasi penjalaran gelombang 1-D (a) gelombang menjalar kearah kanan dari sumber X_S (b) waktu tempuh dari sumber X_S menuju *receiver* X_B (c) waktu tempuh dari sumber X_S menuju *receiver* X_C (d) respon korelasi silang antara *receiver* X_A dan X_B

Untuk memudahkan dalam pemahaman tentang seismik interferometri digunakan ilustrasi Gambar 2.7 dengan asumsi cepat rambat gelombang c dalam keadaan konstan.

Dimana *Green's function* didefinisikan sebagai dua fungsi delta berikut,

$$G(x_A, x_S, t) = \delta(t - t_A) \quad \text{respon pada } x_A \quad 2.1$$

$$G(x_B, x_S, t) = \delta(t - t_B) \quad \text{respon pada } x_B \quad 2.2$$

Dengan t_A dan t_B adalah waktu tiba gelombang,

$$t_A = \frac{x_A - x_S}{c} \quad 2.3$$

$$t_B = \frac{x_B - x_S}{c} \quad 2.4$$

Kemudian *cross-correlation* x_A dengan x_B didapatkan pada $t_B - t_A$. Respon tersebut dapat diinterpretasikan sebagai respon pada x_B dari sumber yang terletak pada x_A .

$$G(x_B, x_A, t) = \delta(t_B - t_A) \quad 2.5$$

Oleh karena itu letak sumber x_S (di kiri penerima) tidak perlu diketahui dengan pasti.

Selanjutnya akan dibahas lebih mendetail tentang *cross-correlation* lebih mendetail berdasarkan (Wapenaar, Draganov, Snieder, Campman, & Verdel)

Respon *cross-correlation* pada x_A dan x_B ,

$$G(x_B, x_S, t) * G(x_A, x_S, -t) \quad 2.6$$

tanda * merupakan operator *convolution*. Tetapi dikarenakan pembalikan pada waktu pada *Green function* kedua mengubah menjadi operator *correlation*,

$$G(x_B, x_S, t) * G(x_A, x_S, -t) = \int G(x_B, x_S, t + t') G(x_A, x_S, t') dt' \quad 2.7$$

Substitusi fungsi delta pada sisi kanan,

$$\int \delta(t + t' - t_B) \delta(t' - t_A) dt' = \delta(t - (t_B - t_A)) = \delta\left(t - \frac{(x_B - x_A)}{c}\right) \quad 2.8$$

Persamaan 2.6 telah membuktikan bahwa korelasi dari x_A dan x_B memenuhi persamaan berikut,

$$G(x_B, x_A, t) = G(x_B, x_S, t) * G(x_A, x_S, -t) \quad 2.9$$

Jika impuls sumber berbentuk *wavelet* $s(t)$,

$$u(x_A, x_S, t) = G(x_A, x_S, t) * s(t) \quad 2.10$$

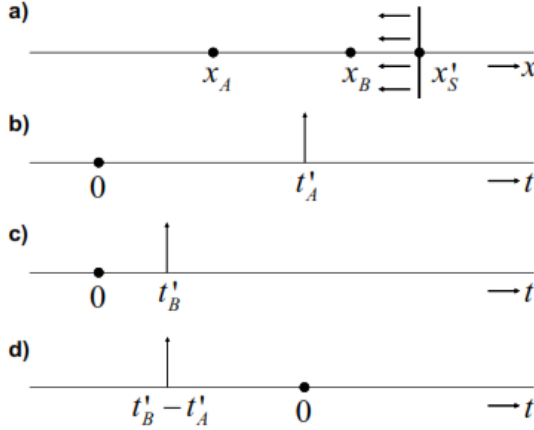
$$u(x_B, x_S, t) = G(x_B, x_S, t) * s(t) \quad 2.11$$

Maka,

$$G(x_B, x_A, t) * S_s(t) = u(x_B, x_S, t) * u(x_A, x_S, -t) \quad 2.12$$

Dengan,

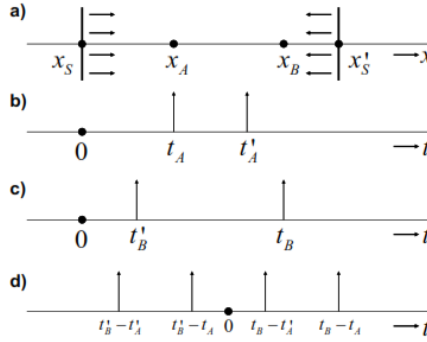
$$S_s(t) = s(t) * s(-t) \quad \text{auto correlation dari wavelet} \quad 2.13$$



Gambar 2. 8 Dengan sumber dari kanan ke kiri, cross-correlation d) diinterpretasikan sebagai time reversed Green's function (Wapenaar, Slob, dkk., 2010)

Dengan posisi sumber seperti pada Gambar 2.8, maka persamaan menjadi

$$G(x_B, x_A, -t) = G(x_B, x'_S, t) * G(x_A, x'_S, -t) \quad 2.14$$



Gambar 2. 9 Ilustrasi jika sumber berasal dari kiri dan kanan penerima (Wapenaar, Slob, dkk., 2010)

Kemudian persamaan 2.9 dan 2.14 digabungkan,

$$G(x_B, x_A, t) + G(x_B, x_A, -t) = \sum_{i=1}^2 G(x_B, x_s^{(i)}, t) * G(x_A, x_s^{(i)}, -t) \quad 2.15$$

Dimana $x_s^{(i)}$ $i = 1, 2$ untuk x_s dan x'_S .

Persamaan dengan sumber *wavelet*,

$$\{G(x_B, x_A, t) + G(x_B, x_A, -t)\} * S_s(t) = \sum_{i=1}^2 u(x_B, x_s^{(i)}, t) * u(x_A, x_s^{(i)}, -t) \quad 2.16$$

Pada persamaan 2.16 *cross-correlation* dilakukan terpisah kemudian baru dijumlahkan.

Jika sumber diganti dengan impuls beserta *ambient noise* maka respon pada x_A dan x_B ,

$$u(x_A, t) = \sum_{i=1}^2 G(x_A, x_s^{(i)}, t) * N_i(t) \quad 2.17$$

$$u(x_B, t) = \sum_{j=1}^2 G(x_B, x_s^{(j)}, t) * N_j(t) \quad 2.18$$

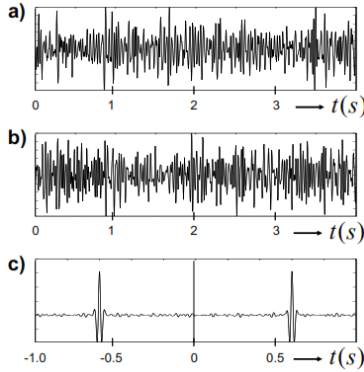
Apabila dilakukan *cross-correlation* antara x_A dan x_B ,

$$\begin{aligned}
& \langle u(x_B, t) * u(x_A, -t) \rangle \\
&= \left\langle \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 G(x_B, x_s^{(j)}, t) * N_j(t) * G(x_A, x_s^{(i)}, -t) * N_i(-t) \right\rangle \\
&= \sum_{i=1}^2 G(x_B, x_s^{(i)}, t) * G(x_A, x_s^{(i)}, -t) * S_N(t)
\end{aligned} \tag{2.19}$$

Dengan menggabungkan persamaan 2.15 dengan 2.18

$$\{G(x_B, x_A, t) + G(x_B, x_A, -t)\} * S_N(t) = \langle u(x_B, t) * u(x_A, -t) \rangle \tag{2.20}$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa *cross-correlation* dari kedua sumber yang telah terkorelasikan dengan *autocorrelation ambient noise* dan tersuperposisi menghasilkan *Green's function* beserta *time reversed* (Rochman M, 2017).

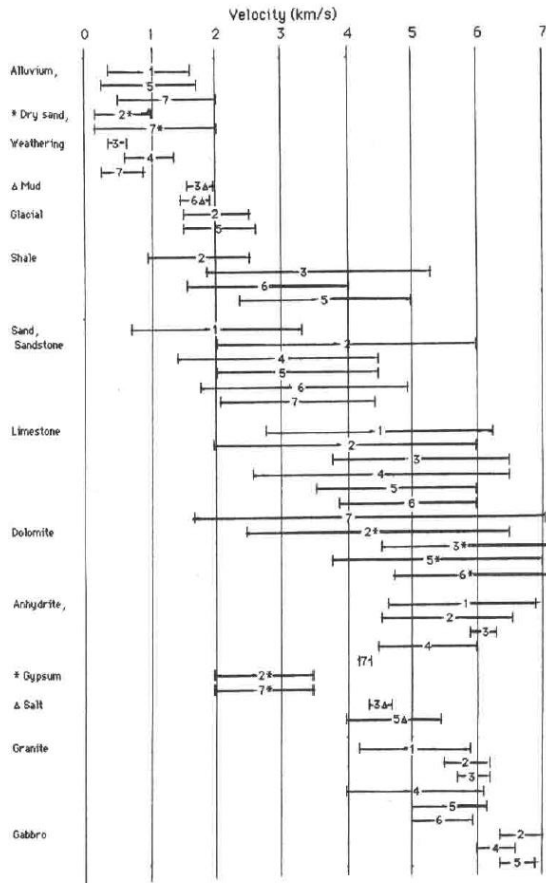


Gambar 2. 10 seperti pada Gambar 2.8 tetapi ambient noise dilakukan secara bersamaan dari kanan dan kiri (Wapenaar, Slob, dkk., 2010)

2.6 Kecepatan Gelombang Seismik pada Batuan

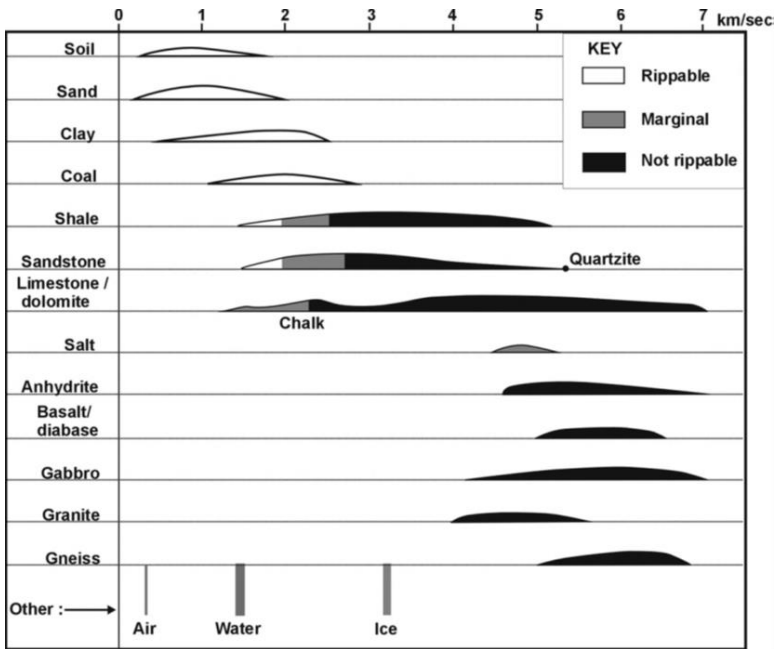
Kecepatan gelombang seismik dipengaruhi oleh medium yang dilaluinya. Apabila medium yang dilaluinya merupakan campuran dari beberapa material berbeda maka bisa dilakukan perhitungan perata-rataan dari *velocity*. (Rochman M, 2017)

Terdapat beberapa klasifikasi jenis batuan berdasarkan nilai V_p yang berbeda antar peneliti, perbedaan tersebut dikarenakan lokasi dan kondisi batuan yang berbeda pula. Dibawah ini adalah beberapa nilai V_p pada batuan oleh beberapa peneliti,



Gambar 0.11 Variasi kecepatan gelombang P. (1) Grant dan West (1965), (2) Kearey and Brooks (1984), (3) Lindseth (1979), (4) Mares (1984), (5) Sharma (1976), (6) Sheriff dan Geldart (1983), dan (7) Waters (1987) dari (Sheriff & Geldart, 1995) dalam (Rochman M, 2017).

Dikarenakan lokasi penelitian berada pada batuan alluvium yang diatasnya adalah lapisan lapuk maka nilai V_p akan berada pada < 2000 m/s.



Gambar 0.12 Rentang kecepatan *P-wave* dan *rippabilities* pada udara,air,es,dan batuan.(Milsom dan Eriksen, 2011)

Selain dari jenis batuan cepat rambat gelombang seismik juga dipengaruhi oleh kondisi dari batuan tersebut (kompaksi; porositas; pengisi pori).(Rochman M, 2017)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini berada pada daerah Lumpur Siduarjo, Porong, Jawa Timur.

3.2 Peralatan dan Data

- Peralatan
Peralatan yang digunakan adalah:
 - a) Perangkat Keras (*Hardware*)
 - *Geophone Sercell*
 - Kabel FDU (*Field Digitizer Unit*)
 - LAUL (*Land Acquisition Unit Land*)
 - LAUX (*Land Acquisition Unit Cross*)
 - LABO (*Control Room , Observer Room*)
 - 1 set *Laptop*
 - b) Perangkat Lunak (*Software*)
 - Microsoft Office 2016
 - SeiSee
 - ZondST2D
 - Vista2D
 - Matlab
- Data
Data yang digunakan adalah 21 *virtual source* dengan informasi sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Informasi Parameter Data Pengukuran

<i>Jumlah Receiver</i>	423
<i>Interval Receiver</i>	25 m
<i>Record Length</i>	60 s
<i>Sampling Rate</i>	2 ms

3.3 Desain Akuisisi

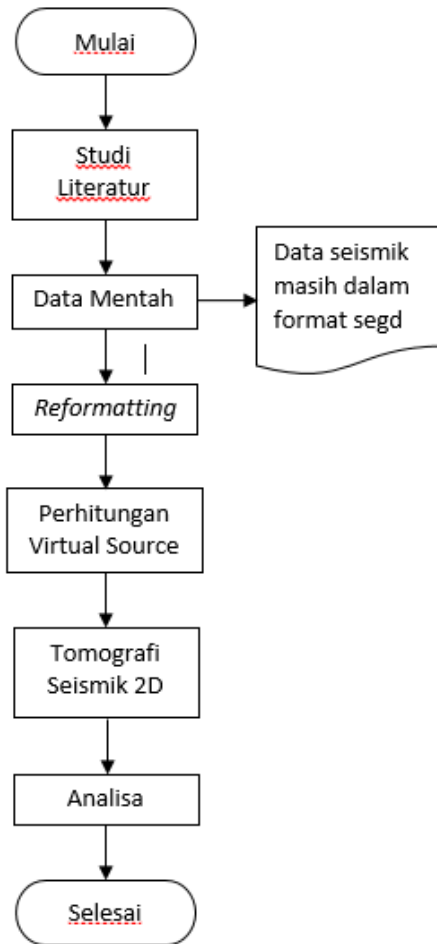
Adapun desain akuisisi pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3. 1 Desain Akuisisi Penelitian

3.4 Diagram Alir Penelitian

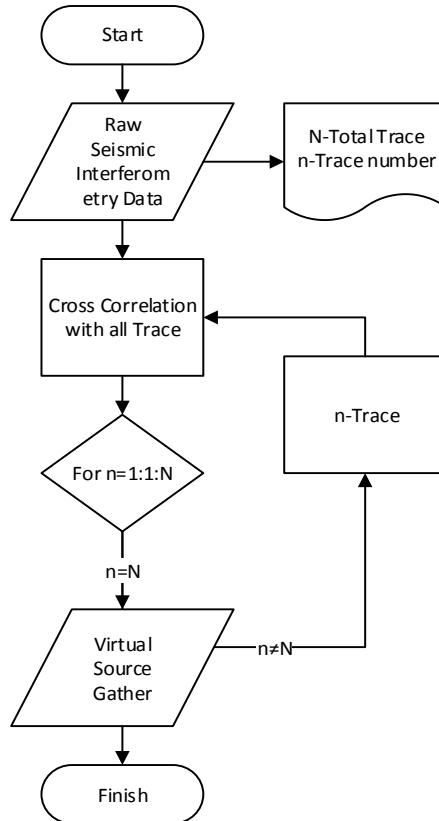
Penelitian yang akan dilaksanakan memiliki kerangka berpikir yang digambarkan pada diagram alir dibawah ini :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

Langkah pertama dilakukan perubahan format data seismik yang awalnya *.segd* menjadi *.sgy* menggunakan *software* VISTA2D, selanjutnya dilakukan perhitungan *virtual source* pada Matlab. Pengolahan yang dilakukan adalah pengolahan tomografi seismik.

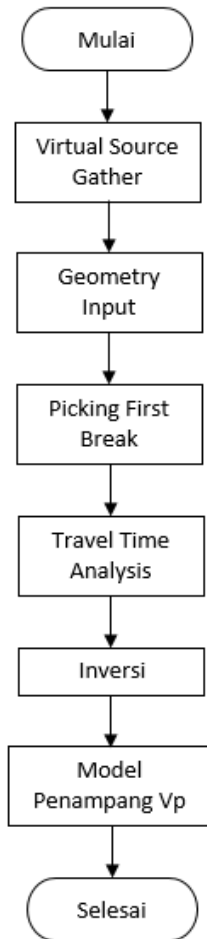
3.5 Diagram Alir Perhitungan *Virtual Source*



Gambar 3. 3 Diagram alir perhitungan *virtual source*.

Proses perhitungan *virtual source* dilakukan pada Matlab untuk mempermudah *looping process* pada perhitungan *cross-correlation*. Dua *trace* yang berbeda antara *master trace* dengan *trace* lainnya dilakukan perhitungan pada tiap sampel datanya hingga lag *cross correlation* terakhir.

3.6 Diagram Alir Pengolahan Seismik Tomografi



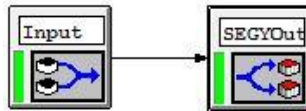
Gambar 3. 4 Diagram Alir Pengolahan Seismik Tomografi.

Setelah *virtual source* didapatkan, selanjutnya adalah proses pengolahan seismik tomografi. Pengolahan seismik tomografi dilakukan menggunakan *software* ZondST2D. Untuk inversi yang digunakan adalah metode Occam. Metoda tersebut dipilih karena memiliki waktu iterasi paling minimum dan menghasilkan model yang mudah diinterpretasikan karena memiliki kemenerusan yang jelas.

3.7 Pengolahan Data

3.7.1 Reformatting Data

Data seismik awal yang didapat masih dalam format *.segd* sehingga harus dilakukan pemformatan data ulang agar menjadi format *.sgy* hal ini dilakukan karena dalam proses pengolahan data seismik format yang dibutuhkan adalah *.sgy*. Pemformatan data ini dilakukan pada *software* Vista2D dengan *flow* pengerjaan seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut,



Gambar 3. 5 Flowchart Pengubahan Format *.segd* mejadi *.sgy*

3.7.2 Korelasi Silang dan *Filtering*

Dalam seismik interferometri kesulitan utama adalah pada saat perhitungan *virtual source*, perhitungan *virtual source* ini dilakukan pada *software* Matlab dengan melakukan korelasi silang antara satu *trace* yang dipilih dengan *trace* lainnya yang terdapat pada data pengukuran untuk mendapatkan *virtual source*. *Filtering* band pass dilakukan pada saat proses korelasi silang untuk memisahkan sinyal yang tidak diperlukan agar menghasilkan *event* refraksi yang lebih jelas. Beberapa nilai *filtering* dicoba untuk mendapatkan *event* refraksi terbaik.

3.7.3 Stacking

Stacking dilakukan untuk meningkatkan *signal to noise ratio (S/N)* dengan cara merata – ratakan *trace* yang sama dalam satu *virtual source* dari data set yang berbeda. Proses ini dilakukan pada *software* Matlab.

3.7.4 *Picking* First Break

Setelah *virtual source* didapatkan, selanjutnya ialah melakukan *picking* first break pada *software* ZondST2D untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang P bawah permukaan. Sebelum dilakukan *picking* geometri pengukuran dimasukkan terlebih dahulu.

3.7.5 Inversi

Inversi dilakukan pada *software* ZondST2D untuk menghasilkan model penampang kecepatan P bawah permukaan. Inversi yang digunakan pada penelitian ini adalah inversi Occam.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

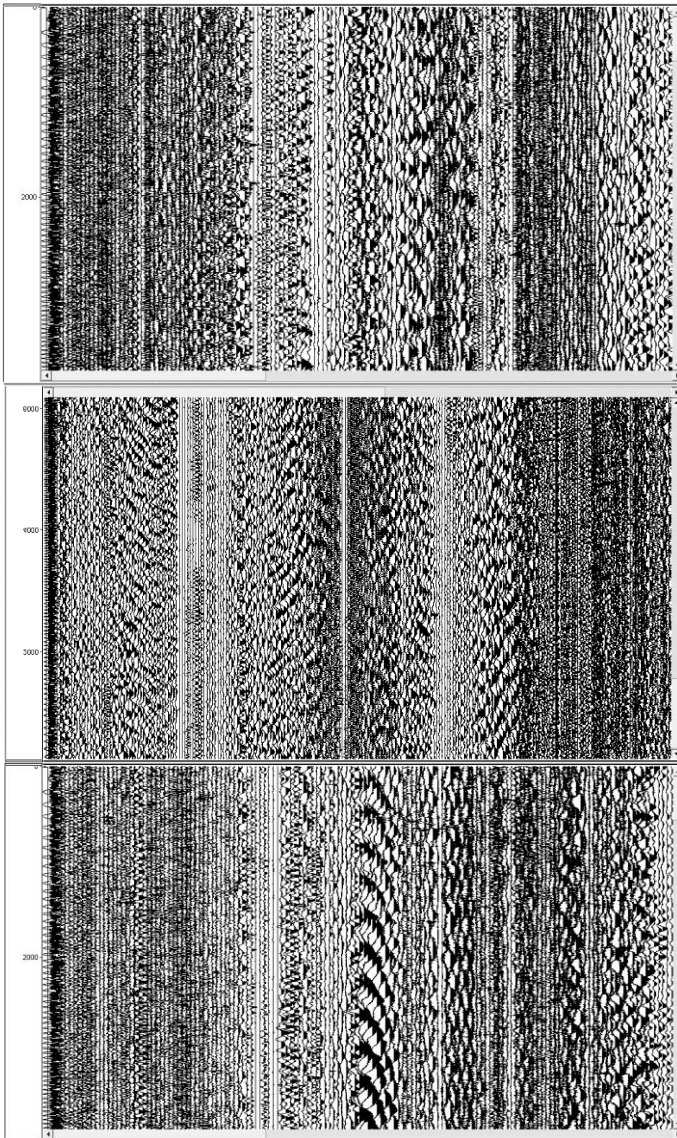
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pengolahan

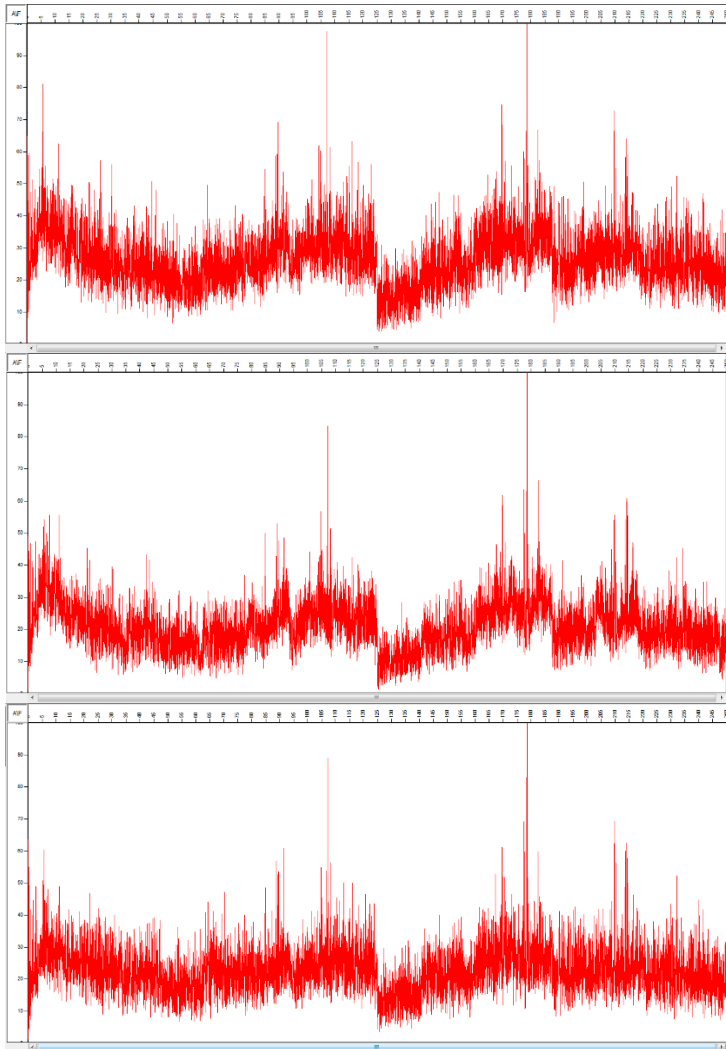
Tahapan pengolahan data seismik interferometri tomografi dilakukan dengan melakukan pengamatan pada tiap data set untuk melihat kelengkapan data seperti jumlah *trace* dan frekuensi *ambient noise*. Selanjutnya dilakukan *cross correlation* untuk pembuatan *virtual source*, pada tahapan ini dilakukan *band pass filtering* pada tiap data. Tahap terakhir adalah melakukan *picking* dari tiap *virtual source* yang telah dibuat untuk mendapatkan model penampang kecepatan.

4.1.1 Raw Data Seismic Interferometri

Lama perekaman data adalah 6 detik dengan sampling rate time 2 ms. Lokasi pengambilan data berada pada Kecamatan Porong hingga Kecamatan Tanggulangin melewati area Lumpur Sidoarjo dengan arah Barat Daya ke Timur Laut. Berikut merupakan beberapa contoh *raw* data pada seismik interferometri,



Gambar 4. 1 *Raw Data* pada Data Set 30, 70 dan 100



Gambar 4. 2 Spektrum Frekuensi Raw Data Set 30,70 dan 100

Dari ketiga contoh *raw* data dan spektrum frekuensi pada gambar 4.1 dan 4.2 diatas dapat dilihat bahwa noise dengan amplitudo yang besar berada pada *receiver* yang berada pada posisi awal dan tengah lintasan pengukuran, hal ini kemungkinan disebabkan karena *traffic noise* yang tinggi karena melewati area permukiman dan dekat dengan jalan raya. Pengamatan spektrum frekuensi dilakukan untuk penentuan *range* frekuensi saat melakukan *filtering*. Oleh

karena itu dilakukan pengolahan seismik interferometri untuk menghasilkan *virtual source* dengan cara korelasi silang untuk menghasilkan *event* refraksi yang lebih jelas sehingga dapat dilakukan *picking first break*.

Selanjutnya dilakukan pemilihan data set untuk dilakukan *cross correlation* dan pembuatan *virtual source*, pemilihan dilakukan dengan melihat kelengkapan dari jumlah *trace* dan data set yang memiliki range frekuensi tidak terlalu besar.

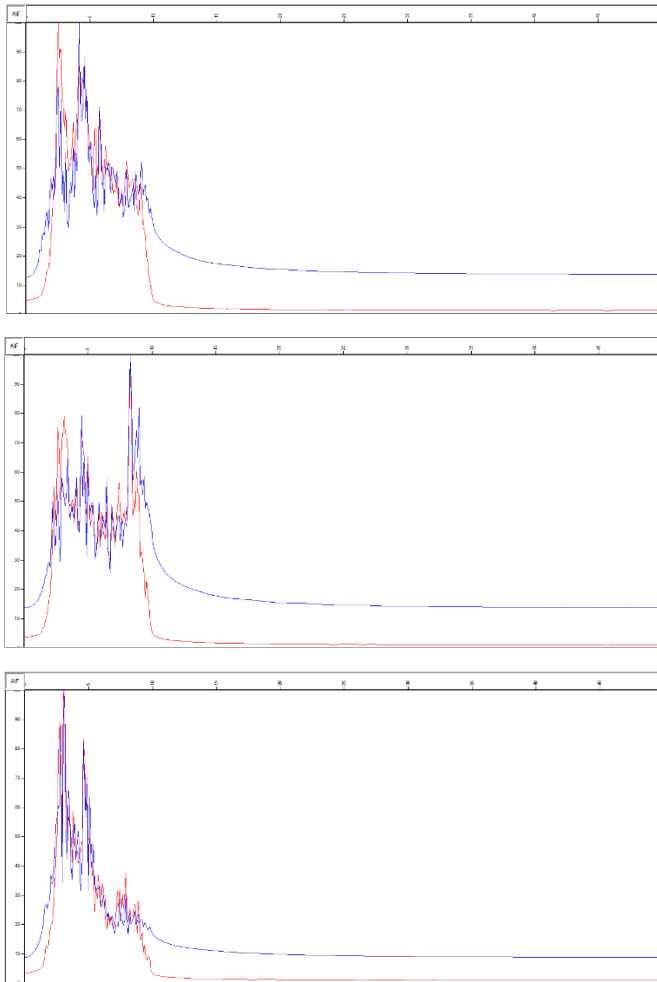
4.1.2 Pembuatan *Virtual source*

Setelah dilakukan pengamatan kelengkapan data dan range frekuensi maka dilakukan pembuatan *virtual source* menggunakan data set shot 1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 dan 120. Dari tiap data set terdapat 21 *virtual source* dengan *virtual source* pertama pada geophone ke 10, spasi antar *virtual source* sebesar 20 hingga *virtual source* terakhir pada geophone 410 dengan panjang lintasan sebesar 10530 m.

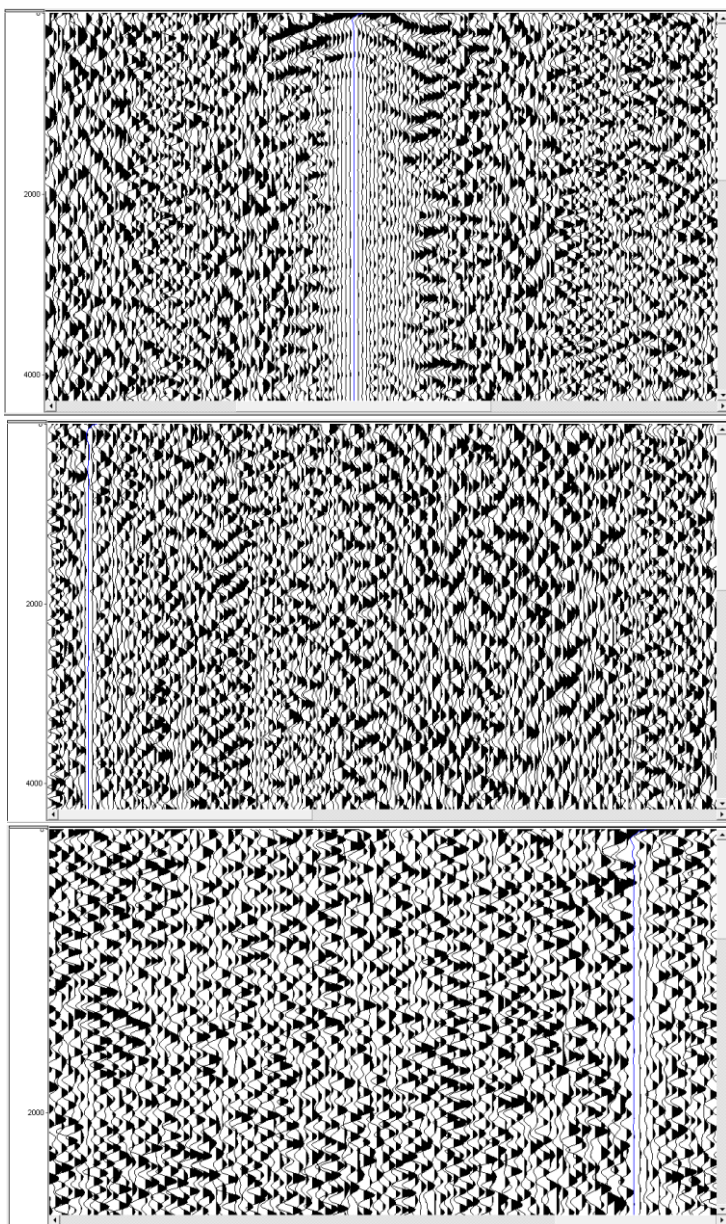
Pembuatan *virtual source* dilakukan dengan cara korelasi silang antara *trace* yang ingin dijadikan *virtual source* dengan *trace* lainnya pada data seismik yang pada penelitian ini berjumlah 423, berikut ini adalah sampel *virtual source* dari data dilapangan.

Dilakukan pemotongan *time length* menjadi 10000 ms dari yang awalnya 30000 ms, hal ini dilakukan karena mempertimbangkan kedalaman *first arrival time* yang tidak begitu dalam sehingga dilakukan pemotongan *time length* untuk menghilangkan data yang sekiranya tidak dibutuhkan dalam proses *picking* tomografi.

Dilakukan *filtering band pass* pada tiap data set yang digunakan, beberapa range frekuensi dicoba pada proses *filtering* untuk melihat mana yang menghasilkan *event* refraksi paling jelas. Setelah dilakukan beberapa percobaan dengan range frekuensi yang berbeda dipilih range frekuensi sebesar 5,8,10,12 hz, pemilihan frekuensi tersebut berdasarkan rentang frekuensi dari *ambient noise* yang cenderung rendah dan hasil kepenerusan gelombang yang paling terlihat pada rentang frekuensi tersebut.



Gambar 4. 3 Spektrum Frekuensi Pada *Virtual Source* 10, 190 dan 410 (Grafik berwarna merah merupakan spektrum frekuensi rata-rata dari keseluruhan *trace* sedangkan grafik biru merupakan spektrum frekuensi pada *Virtual Source*)

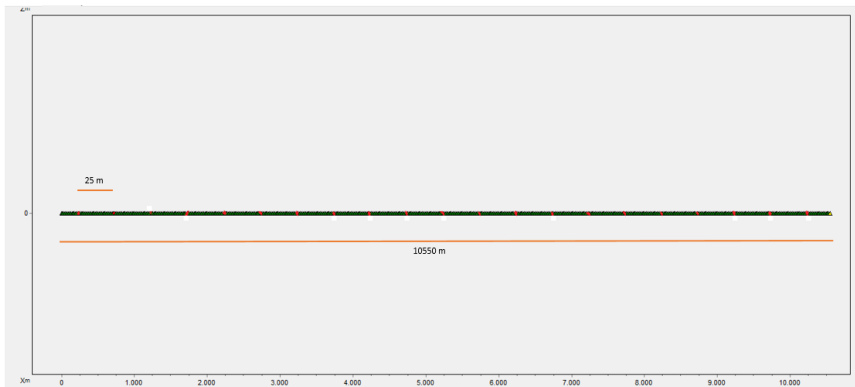


Gambar 4. 4 *Virtual Source* 10, 190 dan 410 dengan filter band pass (5,8,10,12hz)

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa data seismik pada tiap *trace* sudah baik dan cukup jelas, namun dari ke 21 *virtual source* yang telah dibuat tidak semua *virtual source* memiliki *event* refraksi yang terlihat jelas. Hal ini dikarenakan perbedaan dari spektrum frekuensi yang dominan dari tiap *trace* seismik dan proses *stacking* pada saat pembuatan *virtual source*. *Event* refraksi yang belum terlihat jelas terdapat pada beberapa *virtual source* awal dan akhir.

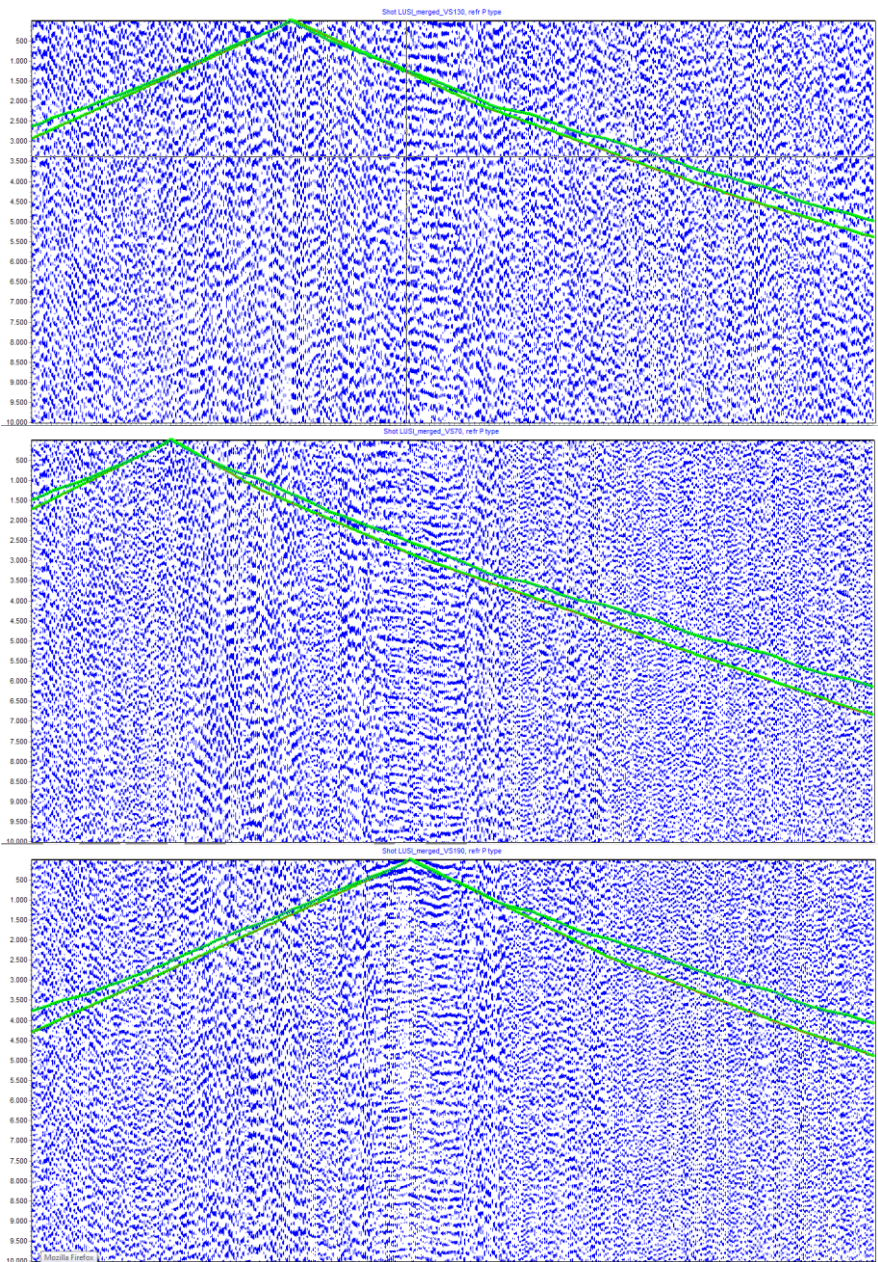
4.2 Pengolahan Data Seismik Interferometri Tomografi

Setelah *virtual source* berhasil dibuat selanjutnya adalah melakukan pengolahan seismik interferometri tomografi dengan menggunakan 21 *virtual source*, berikut ini adalah geometri *virtual source* yang digunakan,



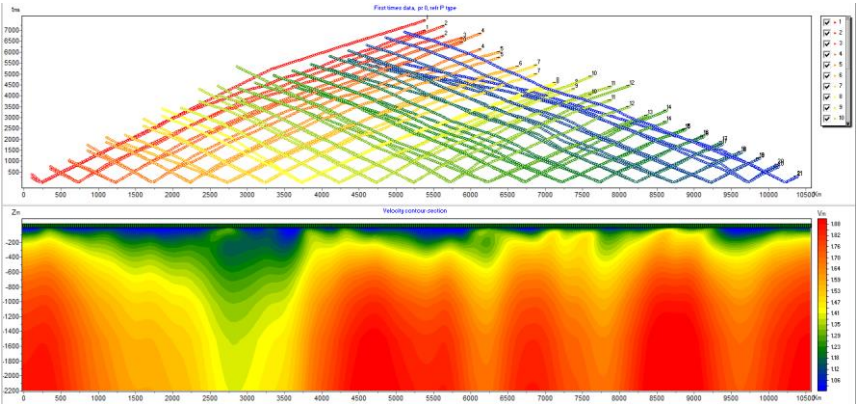
Gambar 4. 5 Geometri *virtual source* yang digunakan dalam *picking surface wave*.

Kemudian dari setiap *virtual source* dilakukan *picking* pada gelombang yang terbentuk dari titik *time* = 0 ms yang memiliki kemenerusan. *Picking* dilakukan pada kisaran waktu dibawah 7500 ms. Setelah semua *picking* dilakukan maka dilakukan inversi tomografi seismik. Berikut adalah beberapa contoh hasil *picking first break* pada *virtual source* 70, 130 dan 190,



Gambar 4. 6 Hasil *Picking First Break* pada *Virtual Source* 70, 130 dan 190

Dalam melakukan inversi digunakan acuan *error RMS*. Karena acuan tersebut lebih berorientasi pada hasil yang baik yaitu berhenti pada parameter *error* yang telah ditentukan.



Gambar 4. 7 Penampang *Velocity modeling* Hasil Inversi

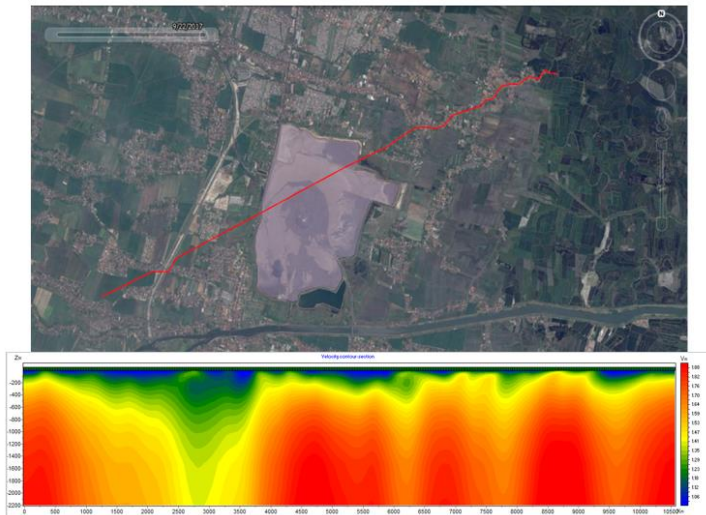
Tabel 4. 1 Parameter Inversi

Inversion method	Occam's
RMS	1
Smoothing factor	0.005
Depth smoothing	0.5
Focussing Parameters	0.010
Smoothness Ratio	0.5

Dari penampang *Vp* yang dihasilkan, dapat dilihat bahwa nilai *Vp* yang didapat tergolong rendah dengan rentang antara 1 km/s sampai dengan 1,9 km/s. Bila diinterpretasikan hal ini disebabkan karena tergolong lapisan yang memiliki tingkat pelapukan yang tinggi.

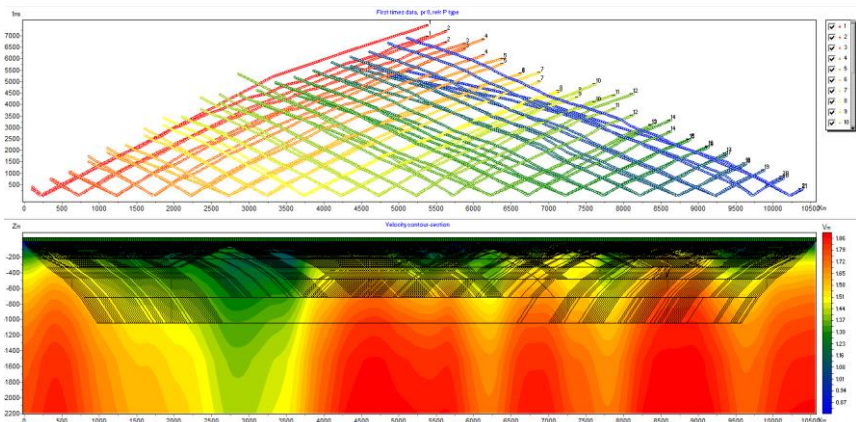
Kesulitan yang lebih tinggi ditemukan saat proses *picking surface wave* pada beberapa *virtual source* awal dan akhir dikarenakan destruksi dari *traffic noise* yang dominan membuat rekontruksi pada proses *cross correlation* kurang jelas pada beberapa *trace* tersebut.

Setelah didapat penampang kecepatan gelombang P selanjutnya dibuat basemap antara desain akuisi dengan penampang kecepatan untuk mempermudah interpretasi pendugaan struktur perlapisan yang ditunjukan pada gambar 4. 8 berikut,



Gambar 4. 8 *Basemap* Desain Akuisisi dengan Penampang Kecepatan Gelombang P

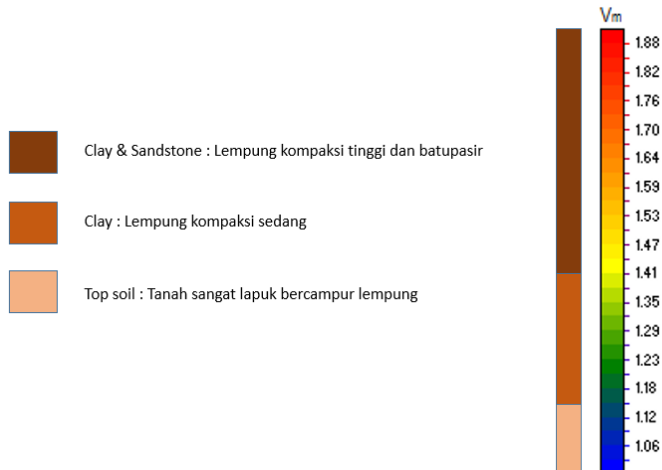
Pada gambar 4.9 diatas dapat dilihat jejak sinyal gelombang seismik yang dapat dipenetrasi dari hasil *picking* dan inversi. Kedalaman yang dapat dipenetrasi adalah sejauh 1000m.



Gambar 4. 9 Jejak Sinyal Gelombang Seismik (*Ray Tracing*)

4.3 Interpretasi Penampang *Velocity Modeling*

Berdasarkan penampang *velocity modeling* yang telah didapat pada gambar 4.7 selanjutnya dilakukan interpretasi nilai V_p . Interpretasi kualitatif dilakukan dengan menggunakan informasi dari peta geologi, stratigrafi regional dan tabel nilai V_p . Karena terdapat nilai rentang nilai V_p yang saling tumpang tindih diperlukan pemahaman geologi dan stratigrafi regional. Dihasilkan rentang nilai dan interpretasi jenis batuan sebagai berikut,



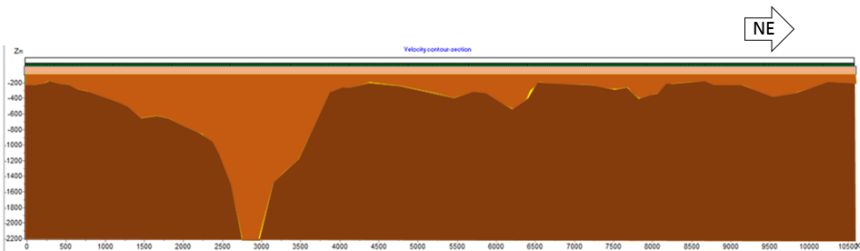
Gambar 4. 10 Interpretasi Rentang Nilai V_p

Dari hasil inversi dengan kedalaman 2200 m diprediksi masih dalam satu litologi yang sama yakni lempung dan pasir seperti yang dapat dilihat pada stratigrafi regional. Jadi jenis batuan yang dijadikan acuan ada dalam Alluvium yang didominasi oleh lempung dan pasir.

V_p rendah 0.8 – 1.15 berdasarkan tabel nilai V_p diinterpretasikan sebagai lapisan tanah lapuk. Hal tersebut didukung dengan kenampakan permukaan yang mengalami retak-retak kecil merata dan dalam kondisi basah bekas terkena hujan.

V_p sedang 1.15 - 1.41 diinterpretasikan sebagai lempung (masih dalam aluvium) dengan kompaksi yang rendah. Disusul dengan $V_p > 1.41 - 1.9$ diinterpretasikan sebagai lempung dengan kompaksi sedang hingga tinggi dan batupasir seiring meningkatnya kedalaman.

Kemudian semua penampang tiap lintasan dilakukan penentuan batas perlapisan dari interpretasi rentang nilai V_p yang telah dibuat. Berikut ini adalah hasil interpretasi penampang nilai V_p ,

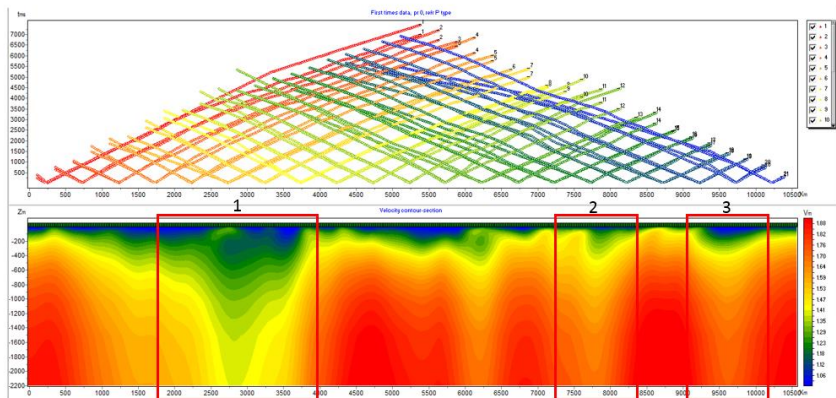


Gambar 4. 11 Model hasil intepretasi penampang V_p .

Dari interpretasi model penampang pada gambar 4.11 dapat dilihat bahwa tebal top soil berkisar 100 m dari kedalaman 0 m – 100 m. Kemudian tebal lapisan *clay* (kompaksi sedang) sebesar 300 m dari kedalaman 100 m – 400 m, kemudian lapisan terakhir didominasi oleh *clay* (kompaksi tinggi) dan *sandstone* pada kedalaman 400 m – 2200 m.

4.4 *Interest Zone* Hasil Interpretasi

Terdapat beberapa zona *interest* yang dihasilkan pada permodelan *velocity* pada penelitian ini yang dapat dilihat pada gambar berikut,



Gambar 4. 12 Zona *Interest* dari Hasil *Velocity modeling*

seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.12 terdapat tiga area yang dianggap menjadi zona *interest* karena memiliki nilai V_p yang rendah di kedalaman yang didominasi oleh nilai V_p tinggi. Hal ini menunjukkan adanya deformasi dan ketidakstabilan perlapisan pada zona tersebut.

Pada zona *interest* yang ditandai dengan nomor 1 dapat dilihat bahwa nilai V_p lebih rendah dibandingkan dengan zona *interest* pada nomor 2 dan 3, pada hasil interpretasi model penampang gambar 4.6 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan perlapisan pada kilometer ke 3. Hal ini kemungkinan mengidentifikasi bahwa pada area tersebut merupakan area patahan yang menyebabkan penurunan perlapisan pada area tersebut. Hal ini sesuai dengan penelitian Mazzini pada tahun 2007 yang menyatakan bahwa terdapat patahan Watukosek yang berarah *SE-NW*.

Pada kotak merah yang ditandai dengan nomor 2 dan 3 pada gambar 4.12 dapat dilihat bahwa nilai V_p cenderung lebih rendah, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal diantaranya bisa disebabkan oleh human factor saat proses *picking surface wave*, atau dapat disebabkan karena pada zona tersebut mengalami ketidakstabilan perlapisan yang disebabkan oleh peristiwa *mud volcano* pada area tersebut. Semburan lumpur yang berlangsung dalam waktu panjang akan mengakibatkan berkurangnya volume material yang terdapat dibawah permukaan dan juga getaran yang menggerakkan lapisan disekitarnya, sehingga terjadi perubahan (deformasi) di daerah sekitar semburan lumpur yang berupa *subsidence* dan rekahan-rekahan baru.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil *velocity modeling* didapatkan nilai V_p rendah berkisar antara 0.8 – 1.15 km/s, nilai V_p sedang 1.15 - 1.41 km/s dan V_p tinggi 1.41 – 1.9 km/s. Didapatkan 3 perlapisan dari hasil interpretasi *velocity modeling* tersebut, yaitu *Top Soil* pada lapisan teratas, *Clay* (kompaksi sedang) pada lapisan tengah dan *Clay* (kompaksi tinggi) dan *Sandstone* pada lapisan terbawah yang masih berada dalam satu litologi.
2. Dampak geologi yang disebabkan oleh lumpur Sidoarjo diantaranya adalah ketidakstabilan lapisan, *subsidence* dan munculnya rekahan-rekahan baru yang terlihat pada zona interest dua dan tiga pada kilometer ke delapan dan sembilan ditandai dengan nilai V_p rendah 1,29 km/s yang berada di Kecamatan Tanggulangin, hal ini menandakan adanya ketidakstabilan lapisan yang disebabkan oleh semburan lumpur Sidoarjo.
3. Pada kilometer ke tiga pada area pengukuran diidentifikasi sebagai adanya patahan yang berada di barat daya dari pusat semburan dengan nilai V_p 1,35 km/s.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut peneliti memberi saran :

1. Dilakukannya pengolahan seismik refleksi interferometri sebagai perbandingan dan penambah informasi karena seismik refleksi menghasilkan penetrasi kedalaman yang lebih baik.
2. Penambahan jumlah *Virtual Source* yang digunakan saat pengolahan seismik refraksi untuk meningkatkan resolusi penampang gelombang V_p .
3. Dialkukan uji pengolahan data sintetik seismik interferometri dengan sumber *noise* dangkal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Davies, R.J., Kusuma, M.A., Andreas, H. dan Deguchi, T. (2009), "Subsidence and uplift of Sidoarjo (East Java) due to the eruption of the Lusi mud volcano (2006-present)", *Environmental Geology*, Vol.57, No.4, hal. 833–844. <http://doi.org/10.1007/s00254-008-1363-4>.
- Adi, I., Syaifuddin, F. dan Warnana, D.D. (2017), "Identifikasi Rekahan Dangkal Akibat Aktivitas Lumpur Sidoarjo di Kecamatan Tanggulangin – Penetrating Radar (GPR)", *Teknik Its*, Vol.6, No.1, hal. 60–62.
- Bakulin, A. dan Calvert, R. (2006), "The virtual source method: Theory and case study", *Geophysics*, Vol.71, No.4, hal. SI139-SI150. <http://doi.org/10.1190/1.2216190>.
- Bemmelen, van, R.. (1949), *The Geology of Indonesia*, Nederland, The Haque.
- Berryhill, J.R. (1979), *GEOPHYSICS*, Vol.44, No.August.
- Davies, R.J. (2018), "The cause of the 2006 Lusi mud volcano (Indonesia): Please let's not rewrite history", *Marine and Petroleum Geology*, Vol.95, hal. 344. <http://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.07.013>.
- Dwanda, J.S. dan Nurhandoko, B.E.B. (2016), "Transformasi Data Vertical Seismic Profile (VSP) menjadi Data Cross-well dengan Seismik Interferometri", *Prosiding Skf 2016*, hal. 203–210.
- Harsono, P. (1983), *Stratigrafi daerah Mandala Rembang dan sekitarnya*, Jakarta.
- Indrawati, R. (2016), *Analisa Struktur Bawah Permukaan Daerah Porong Sidoarjo Berdasarkan Data Gaya Berat*, Universitas Lampung.
- Mazzini, A., Svensen, H., Akhmanov, G.G., Aloisi, G., Planke, S., Malthe-Sørenssen, A. dan Istadi, B. (2007), "Triggering and dynamic evolution of the LUSI mud volcano, Indonesia", *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.261, No.3–4, hal. 375–388. <http://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.07.001>.
- Milsom, J. dan Eriksen, A. (2011), *Field Geophysics, 4th ed.* <http://doi.org/10.1002/9780470972311>.
- Rochman M, N. (2017), *Aplikasi Dan Pemodelan Seismik Interferometri*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Santosa, S. dan Suwarti, T. (1992), *Peta Geologi Lembar Malang, Jawa, skala 1 : 100.000.*, dalam Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Satyana, A.H. dan Asnidar (2008), "Mud diapirs and mud volcanoes in depressions of Java to Madura: Origins, natures, and implications to petroleum system", *Proceedings Indonesian Petroleum Association, Thirty-second Annual Convention & Exhibition, May 2008*, Vol.2, No.May, hal. IPA08-G-139.
- Sismanto (1999), *Eksplorasi dengan Menggunakan Seismik Refraksi.*.
- Wapenaar, K., Draganov, D., Snieder, R., Campman, X. dan Verdel, A. (2010), "Tutorial on seismic interferometry: Part 1 — Basic principles and applications", *Geophysics*, Vol.75, No.5, hal. 75A195-75A209.
<http://doi.org/10.1190/1.3457445>.
- Wapenaar, K., Slob, E., Snieder, R. dan Curtis, A. (2010), "Tutorial on seismic interferometry: Part 2 — Underlying theory and new advances", *Geophysics*, Vol.75, No.5, hal. 75A211-75A227.
<http://doi.org/10.1190/1.3463440>.
- Widodo, A. (2017), "PEMETAAN BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH TANGGULANGIN , SIDOARJO DENGAN MENGGUNAKAN METODA GROUND PENETRATING RADAR (GRP)", *Geosaintek.*.

PROFIL PENULIS



Rendy Oktavian lahir di Payakumbuh, 22 Oktober 1996 dari pasangan Bapak Fidruzal dan Ibu Ratna Dewinarti. Penulis merupakan anak ketiga dari 3 bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai di SDN 02 Labuh Baru Payakumbuh (2002-2004), SD Cendana Pekanbaru (2004-2006) kemudian melanjutkan sekolah di SMP Cendana Pekanbaru (2006-2008), kemudian SMA Labschool Jakarta (2011-2014), terakhir penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Geofisika,

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama Menjadi mahasiswa di ITS, penulis aktif dalam kegiatan organisasi, diantaranya pernah menjadi staff biro geopreneur Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG) periode 2016-2017 dan staff *Research and Development Department Society of Exploration Geophysicist ITS Student Chapter* (SEG ITS-SC) periode 2016/2017. Penulis pernah aktif dalam kepanitian, yakni sebagai koordinator ITS International Geoscience Convention 2018.. Jika ingin berdiskusi lebih jauh mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi email: rendyoktavian09@gmail.com